

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA ELISEU MACIEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SEMENTES



Dissertação

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ELETRÔNICO
DE MONITORAMENTO DE DADOS NA SECAGEM ESTACIONÁRIA DE
SEMENTES DE ARROZ**

RAFAEL GALLI

PELOTAS
Rio Grande do Sul – Brasil
2014

RAFAEL GALLI

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ELETRÔNICO
DE MONITORAMENTO DE DADOS NA SECAGEM ESTACIONÁRIA DE
SEMENTES DE ARROZ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade federal de Pelotas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre Profissional.

Orientador: Prof. Dr. Orlando Antonio Lucca Filho

PELOTAS
Rio Grande do Sul – Brasil
2014

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

G111d Galli, Rafael

Desenvolvimento e avaliação de um sistema eletrônico de aquisição de dados na secagem estacionária de sementes de arroz / Rafael Galli ; Orlando Antônio Lucca Filho, orientador. — Pelotas, 2014.

40 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2014.

1. Controle de secagem. 2. Baixo custo. 3. Secagem de sementes. I. Lucca Filho, Orlando Antônio, orient. II. Título.

CDD : 633.18

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

RAFAEL GALLI

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ELETRÔNICO
DE MONITORAMENTO DE DADOS NA SECAGEM ESTACIONÁRIA DE
SEMENTES DE ARROZ**

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre Profissional, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade federal de Pelotas,.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Orlando Antonio Lucca Filho (Orientador)

Engº Agrº Dr. Geri Eduardo Meneghello

Prof. Dr. Carlos Alberto Silveira da Luz

Prof. Dr. José Carlos Pereira Nogueira

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais e minha esposa Angelita B. Galli a meus filhos Arthur e Ana Clara, pelo apoio e compreensão.

Aos meus colegas de mestrado que auxiliaram nos estudos de matérias que até então eram completamente desconhecidas.

Ao meu colega de trabalho Gladimir Pinto da Silva que durante todo o trabalho serviu como exemplo de dedicação e persistência.

Aos meus grandes colegas de laboratório, Igor da Rocha Barros e André Wille Lemke, pela ajuda, que sem ela não teria completado o sistema de aquisição de dados em tempo hábil.

*Aqui, no entanto, nós não olhamos para trás por muito tempo.
Nós continuamos seguindo em frente, abrindo novas portas e
fazendo novas coisas, porque somos curiosos ...e a curiosidade
continua nos conduzir por novos caminhos.*

Walt Disney

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por iluminar o meu caminho em todos os dias da minha vida. Agradeço aos professores deste curso, amigos e colegas de mestrado que me apoiaram e me incentivaram nessa jornada de desenvolvimento e pesquisa nesta área até então desconhecida.

A minha esposa Angelita Barcellos Galli e meus filhos Ana Clara e Arthur pelo apoio e compreensão.

Ao professor orientador Orlando Lucca Filho, pela orientação na realização do curso de mestrado.

Ao professor Francisco Amaral Villela, coordenador do curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes, professor e incentivador, meus sinceros agradecimentos.

Aos professores do DER da Faculdade Eliseu Maciel, em especial ao professor Ângelo Vieira do Reis.

Ao professor Carlos Alberto Silveira da Luz grande amigo e principal motivador deste mestrando e a Professora Maria Laura Gomes Silva da Luz, que nos apoiou e acolheu neste trabalho.

RESUMO.

GALLI, R. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema eletrônico de aquisição de dados.** 2014. 41p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

O presente trabalho foi realizado como objetivo desenvolver e avaliar um sistema eletrônico, que permita a supervisão e armazenamento de dados em um silo de secagem, visando um sistema confiável e de baixo custo, que permita sua implantação em propriedades de pequeno porte ou mesmo de grande porte. Um sistema de fácil implementação e de simples operação. O sistema é composto de placas de aquisição microprocessadas, que durante a secagem do produto realizam aquisição de temperatura em três níveis, topo, centro e base dos silos, como também da umidade relativa do ar de entrada e saída, transmitindo estas informações para uma central (computador), via Bluetooth onde as mesmas são armazenadas para posterior análise.

Palavra chave: controle de secagem, baixo custo, secagem de sementes

ABSTRACT

GALLI, R. **Development and evaluation of an electronic data acquisition system.** 2014. 41f. Dissertation (Master Degree in Seed Science and Technology) – Graduate Program in Seed Science and Technology, Agronomy College Eliseu Maciel, Pelotas Federal University, Pelotas, 2014.

This study aimed to develop and evaluate an electronic system, that allows monitoring and data storage in a silo drying, seeking a reliable and low cost system that allows its deployment in small or even large industrial plants. A system of easy implementation and simple operation. The system consists of microprocessor acquisition boards that during drying of the product perform temperature acquisition in three levels, top, middle and base of the silos, as well as the relative humidity input and output, transmitting this information for a central (computer) via Bluetooth where they are stored for later analysis.

Keyword: drying control, low cost, drying seeds

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1 - aspectos físicos do sensor de temperatura LM 35	05
Figura 2 - Sensor de Umidade HIH 4000.	07
Figura 3 - Tela do software de aquisição	11
Figura 4 - Tubo de PVC 200mm utilizado na construção dos silos.....	12
Figura 5 - Estrutura do Silo	13
Figura 6 - Separação de tela com resistência elétrica e entrada de ar em destaque.	13
Figura 7 - Detalhe da montagem dos silos.....	14
Figura 8 - Conjunto de silos completo.....	15
Figura 9 - Processo de impressão dos bocais.....	16
Figura 10 - Bocais já impressos.....	16
Figura 11 - Bocais superiores sobre a bandeja preta (recém saído da impressora) . Bocais abaixo (Já limpos e prontos para o uso).....	17
Figura 12 - Placa de aquisição de dados.	18
Figura 13 - Analisador de umidade capacitivo.....	20
Figura 14 - Termômetro de Bulbo seco e Úmido (Psicrômetro).	21
Figura 15 - Arquivo texto gerado pelo sistema.....	22
Figura 16 - Dados de leitura e controle da secagem para comparativo.....	23
Figura 17 - Umidade das sementes do silo A.....	24
Figura 18 - Umidade das sementes silo C.	25
Figura 19 - Umidade das sementes do silo B.....	25
Figura 20 - Umidade das sementes do silo D.	25
Figura 21 - Umidade do Topo e Fundo do silo A.....	26
Figura 22 - Umidade do Topo e Fundo do silo C.....	26
Figura 23 - Visual da tela do sistema de aquisição visto pelo operador.	27

LISTA DE SIGLAS

UART - Universal Asynchronous Receiver /Transmitter .

GPS - Global Positioning System.

UBS - Unidades de Beneficiamento de Sementes.

PVC - PolyVinyl Chloride.

bu - teor de água em base úmida.

ma - massa de água.

m_{mu} - massa de matéria úmida.

m_s - massa de matéria seca.

Rh - umidade relativa.

A/D - Analógico Digital.

EAGLE - Easily Applicable Graphical Layout Editor.

ASCII - American Standard Code for Information Interchange.

SUMÁRIO

	Página
1 – INTRODUÇÃO	01
2 – REVISÃO DE LITERATURA	02
2.1. Sensoriamento	04
2.1.1. Funcionamento de um sensor	04
2.2. Sensor de Temperatura	04
2.4. Sensor de Umidade	06
2.5. Sensor HIH-4000	06
2.6. Microcontrolador	07
2.7. Programação e Gravação	08
2.8. Comunicação Serial	09
2.9. Software e Aquisição de Dados	10
3 – MATERIAL E MÉTODOS	12
4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
5 – SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	28
6 – CONCLUSÃO	29
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 – INTRODUÇÃO.

A população mundial tem crescido assustadoramente ao longo dos anos, com isto surge cada vez mais a necessidade de produção de alimentos para suprir uma demanda crescente.

Existe, segundo dados ONU, uma perda de um terço da produção mundial de alimentos desde o plantio até a distribuição e armazenamento deste alimento (ALBIERO et al.,2013).

Há uma preocupação em desenvolver novas tecnologias para a produção agrícola ao redor do mundo, e os países que hoje desenvolvem e aplicam estas tecnologias estão conseguindo um crescimento cada vez maior de suas produções. Esta tecnologia é encontrada em controle de máquinas, em sistemas de produção, controle de plantio e colheita, em sistema de estocagem e armazenamento e muitos outros.

Visando um equipamento para atuar justamente na parte de secagem, este trabalho foi feito, e aqui é apresentado, não como uma solução em sistema de controle de secagem, mas sim como uma opção segura e de baixo custo.

2- REVISÃO DE LITERATURA.

A cada ano a população mundial cresce, com isto, surge a necessidade de se produzir mais alimentos.

Muitos países estão desenvolvendo e aplicado cada vez mais tecnologia na produção de alimentos, esta tecnologia aplicada é denominada Agricultura de precisão. Tecnologias estas tais como GPS, para o controle do plantio, colheita e aplicação de defensivos, visando diminuir perdas e aumentar o rendimento. Hoje já é possível o controle de plantio e pragas utilizando satélite, seja este meteorológico ou de apoio a GPS. (ALBIERO, 2013).

Também pode-se citar o melhoramento das máquinas de semeadura e colheita que estão cada vez mais sofisticadas permitindo um plantio mais preciso e uma colheita com menos perdas e mais rápida, com isto diminui os gastos com insumos e aumenta a produtividade. (MOLIN, 2012).

Outra preocupação está no armazenamento deste alimento, principalmente em se tratando de sementes e grãos. Segundo Lazzare et al. (2012), as sementes, em geral, estão sujeitas à redução em sua qualidade fisiológica (vigor e germinação) desde a maturação, ainda no campo, passando pelo transporte, beneficiamento, armazenamento até a hora do novo plantio. Estas alterações na qualidade da semente são causadas, normalmente por excesso de umidade.

As sementes provenientes do campo podem apresentar teor de água inadequado para o armazenamento seguro. O elevado teor de água contribui para elevar a atividade metabólica e acelerar o processo de deterioração da semente liberando energia e água (PESKE et. al. 2012).

Segundo Luz (2008) a água contida nas sementes possibilita o ataque de micro-organismos, que se alimentam por osmose, se desenvolvendo deteriorando os grãos, além de desenvolver insetos que se desenvolvem em ambientes úmidos. Para que as sementes possam ser armazenadas com segurança o excesso de água nas sementes, deve ser rapidamente removido através de

algum tipo de secagem, secagem natural ou artificial, com uso de secadores mecânicos.

Segundo Peske e Baudet (1994), entre os métodos de secagem artificial para sementes, os mais utilizados são os: intermitente e estacionário.

O método estacionário, que será utilizado neste experimento, basicamente, consiste submeter a massa de sementes estática à passagem de um fluxo de ar forçado, que pode ser aquecido ou não (PESKE e VILLELA, 2012, p. 372).

A secagem estacionária é caracterizada por ocorrer em sucessivas camadas. Quando a primeira camada atinge o equilíbrio higroscópico com o ar de secagem, a segunda camada entra em secagem enquanto a terceira permanece úmida por estar a adiante da frente de secagem (BOYD et. al., 1994; PASQUALLI, 2005). Neste caso surge a necessidade de monitoramento destes níveis para um acompanhamento da frente de secagem.

Outro ponto que demonstra a importância do monitoramento da secagem é que as sementes sofrem mudanças físicas, durante o processo de secagem, provocadas por gradientes de temperatura que causam alterações fisiológicas nas sementes. O processo de secagem não aumenta o número de sementes quebradas, mas pode causar fissuras internas ou superficiais tornando as sementes suscetíveis a quebras no beneficiamento (GARCIA, 2001; VILLELA, 1991).

As Unidades de Beneficiamento de Sementes (UBS) estão se sofisticando cada vez mais, visando, a melhoria de todas as etapas do processo, entre elas, do sistema de secagem e posteriormente do sistema de armazenamento destas sementes.

O trabalho, apresentado, consiste justamente neste ponto, desenvolver um sistema de controle de processo de secagem. O sistema monitorou três níveis de temperatura e dois de umidade relativa, transferindo os dados para um software de controle e armazenagem de dados.

Todo o sistema foi desenvolvido com tecnologia nacional visando eficiência e baixo custo.

2.1 Sensoriamento

2.1.1 Funcionamento de um sensor

Pode-se definir como sensor, todo componente ou circuito que transforma uma grandeza analógica, seja ela pressão, umidade, temperatura ou movimento, em uma grandeza elétrica também analógica. Esses sensores podem ser ativos ou passivos, estes últimos são sensores que necessitam de alimentação externa, através de uma fonte de corrente contínua para fornecer uma medida elétrica na proporção ao que está sendo analisado.

Os sensores passivos utilizam da própria ação mecânica aplicadas a ele para gerar energia, aos componentes que utilizam materiais piezo elétricos.

2.2 Sensor de Temperatura

Sensor de temperatura é capaz de converter a temperatura do meio em que este está inserido, em tensões elétricas, que posteriormente podem ser transformadas em valores numéricos de uma escala termométrica, utilizando um microcontrolador ou circuitos eletrônicos dedicados.

As escalas mais utilizadas para medir temperatura ambiente são as escalas Celsius ($^{\circ}\text{C}$) e Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$).

Existem vários meios de se obter o valor da temperatura ambiente: através da expansão volumétrica do mercúrio, e do álcool, assim como a dilatação de materiais metálicos e bi metálicos, os quais dependem da variação de temperatura para se dilatar ou contrair, conseguindo-se assim uma relação de expansão dos líquidos ou projeção linear dos metais com a variação de temperatura.

O termômetro elétrico, mais conhecido como sensor eletrônico de temperatura, é um dispositivo que quando alimentado por uma fonte externa, seguido da temperatura em que se encontra, é capaz de medi-la e transformá-la em uma grandeza elétrica, esta grandeza elétrica é linearmente compatível com uma escala termométrica, seja ela Celsius ou Fahrenheit.

Esses sensores são encontrados na maioria dos equipamentos eletrônicos, em que se faz necessário o controle ou monitoramento de temperatura.

O circuito integrado LM35, figura 1, é um sensor de temperatura de precisão de 1%, cuja sua tensão de saída é linearmente proporcional à temperatura medida em graus Celsius.

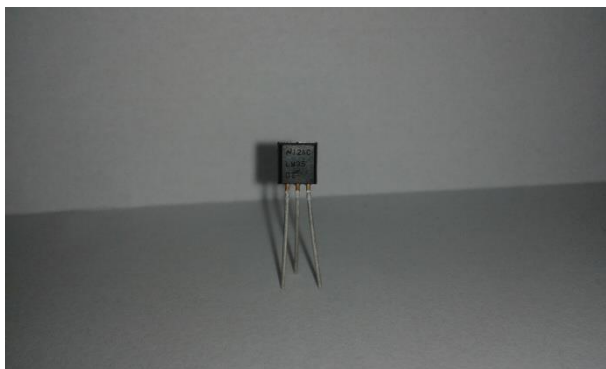


Figura 1 - aspectos físicos do sensor de temperatura LM 35

Este sensor tem uma grande vantagem sobre outros tipos de sensores eletrônicos, pois não possui ajuste externo, entregando em sua saída uma tensão quase que exata da ordem de escala de 10 mV (milivolts) por grau Celsius (10mv/°C), isso quer dizer que para uma temperatura ambiente de 25°C, o sensor fornecerá em sua saída 250 mV (milivolts).

Sua faixa de medição está entre -50°C e 150°C, este componente possui uma baixíssima tolerância na ordem de $\pm 1/4$ °C, também possui consumo muito baixo, por volta dos 60 uA (micro ampères) e sua alimentação pode variar entre 4 Volts até 30 Volts, bem especificado, relacionando a utilização do mesmo com aplicações onde se faz necessário o uso de baterias ou alimentadores solares.

2.4 Sensor de Umidade

Sensor de umidade relativa do ar ou higrômetro é um sensor capaz de medir a quantidade de umidade presente nos gases da atmosfera. Existem vários tipos de sensores de umidade: podem ser do tipo mecânico, que utilizam materiais orgânicos, por exemplo, o cabelo humano que dependendo da umidade do ambiente o ar se dilata ou se contrai variando deste modo em uma escala compatível com a escala de umidade relativa. Outro tipo de sensor é o elétrico cujas características especiais de materiais higroscópicos, possuem a capacidade de absorver umidade.

Os sensores de umidade elétricos ou eletrônicos utilizam destes materiais higroscópicos que variam sua resistência de acordo com a quantidade de umidade absorvida, deste modo se obtém uma relação compatível com a resistência elétrica do dispositivo e a umidade relativa do ar presentes em um ambiente ou na atmosfera.

2.5 Sensor HIH-4000

Este sensor é do tipo eletrônico, possui invólucro de plástico e tem a capacidade de entregar uma tensão de saída (V_{out}), proporcionalmente linear à umidade relativa presente no ar, isto é, o mesmo não necessita de ajustes, sendo que a umidade relativa (R_h) é representada em uma escala de 0 a 100%.

O consumo de energia deste sensor está em torno de 200 μA (microampères), sendo que sua alimentação pode variar entre 4.0 e 5.8 Volts (V) e a tensão de saída do sensor (V_{out}) em relação a umidade relativa do ar (R_h), está descrita pela formula: $R_h = (V_{out} - 0.958) / 0.0307$.

O componente é constituído de elementos polímeros termofixos capacitivos, construído em várias camadas em um único chip, estes polímeros termofixos não alteram suas propriedades com a variação de temperatura, proporcionando a informação real do fator de umidade relativa, mesmo em

temperaturas baixas ou altas. Na figura 2 pode-se verificar o aspecto físico deste sensor.

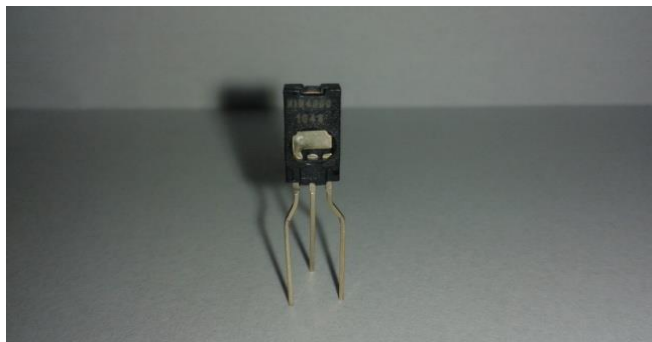


Figura 2 - Sensor de Umidade HIH 4000.

2.6 Microcontrolador

Os processamentos de dados são feitos a partir de um microcontrolador, esse é capaz de processar dados como temperatura, umidade relativa do ar, presentes nas saídas dos sensores. O microcontrolador tem a capacidade de calcular esses dados e tornar essas medidas numéricas compatíveis com uma escala de medição padrão. Esses sinais em forma de dados não são entregues pelos sensores em um modo digital, mas sim de modo analógico.

Para que os dados analógicos sejam transformados em dados digitais e possam ser compreendidos pelo dispositivo, o microcontrolador possui um conjunto de conversores Analógico Digital (A/D), estes conversores em tempo real, transformam os níveis de tensão existentes nas saídas dos sensores, em modo numérico, para que posteriormente sejam realizados cálculos e conversões de unidades.

O microcontrolador também pode receber e enviar dados por meio de protocolos de comunicação específicos, que podem ser comunicação paralela “e” ou “ou” serial através de suas portas principais, no entanto esses dados são em formato digital. Dentre os tipos de comunicação serial estão, a comunicação serial

assíncrona (UART) e comunicação serial síncrona que está diretamente relacionada a comunicação (I²C).

Os dados após serem lidos, processados e convertidos pelo microcontrolador são aplicados em dispositivos de saída como displays, memórias ou também enviados para outro dispositivo através de comunicação serial.

O PIC 16F877A é um microcontrolador produzido pela Microchip™, que tem grande capacidade de processamento.

Possui 15 tipos de interrupções, somadas as internas e externas, três timers internos, dois módulos de captura, comparação e PWM, um módulo de comunicação serial síncrona I²C ou SPI, um módulo de comunicação serial assíncrona UART e um conversor Analógico Digital (A/D) de 10bits de resolução com 8 canais de entrada, formando um conjunto de 33 portas de entrada e saída.

A placa desenvolvida reúne as entradas e saídas já previamente definidas para a implantação dos sensores além de display de LCD para mostrar os dados em loco possibilitando o operador verificar se os dados que estão chegando ao programa batem com os que estão sendo adquiridos pela placa, o esquema elétrico e a placa foram feitos através do programa Eagle 6.20™.

2.7 Programação e Gravação

A programação do microcontrolador é feita através do compilador CCS C Compiler™, onde todo o código fonte é escrito em linguagem C padrão. Este compilador traduz o código escrito em linguagem C, linguagem de alto nível, em linguagem assembly, linguagem de baixo nível, e finalmente em um arquivo hexadecimal, onde se encontra a linguagem de máquina, linguagem compreendida pelo microcontrolador.

A gravação é realizada através do software Pic Kit 2™ e por meio do hardware, de mesmo nome, utiliza-se o arquivo hexadecimal gerado pelo compilador e que é gravado na memória do microcontrolador através do gravador.

O código fonte do programa escrito em linguagem C encontra-se nos apêndices.

As placas de aquisição foram desenvolvidas de forma que os valores adquiridos pelos sensores fossem apresentados em displays para que o operador pudesse acompanhar, em loco, os dados.

Display LCD ou módulo LCD (Liquid Crystal Display) é um dispositivo que exibe caracteres em uma tela de cristal líquido, esses caracteres são enviados pelo microcontrolador e recebidos pelo módulo LCD, que contém um registro de caracteres armazenados (Código ASCII), cujas informações são convertidas em caracteres toda vez que dados são enviados pelo microcontrolador e logo após exibidos na tela de cristal líquido de forma sincronizada. Este módulo utiliza comunicação paralela com o microcontrolador, sendo essa na forma de linha dados de 4 bits, de forma intercalada entre bits mais significativos e menos significativos ou 8 bits em paralelo, seguindo o valor correspondente binário em sequência aos caracteres a serem exibidos.

2.8 Comunicação Serial

A comunicação serial, ou mais conhecida como RS-232, é necessária para que os dados sejam enviados e recebidos por um dispositivo externo, seja ele um equipamento de aquisição de dados ou um computador. Os dados que são processados pelo microcontrolador, são enviados também pela comunicação serial através do módulo de comunicação assíncrona do mesmo, UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), sendo que o mesmo manda os dados em pacotes, com um valor de baud igual a 9600 Bytes por Segundos (Bps).

No caso dos dados serem enviados para um computador, para utilizar um software de aquisição de dados, faz-se necessário o uso de um circuito integrado que converta os sinais enviados pelo microcontrolador em sinais compatíveis com a porta serial do computador. O circuito integrado responsável por esta conversão de sinais é o MAX232 da Texas Instruments™. O circuito integrado MAX232 converte os sinais TTL existentes na saída do módulo UART do microcontrolador

em sinais CMOS que é o padrão existente nas portas RS-232 do computador, por exemplo.

No caso deste trabalho optou-se por transmitir os dados via Bluetooth, desta forma foi eliminado cabos de transmissão, o que facilitou em muito o trabalho, pois eliminou cabos e com isto, possíveis maus contatos que poderiam causar erros de transmissão.

Conforme foi dito anteriormente, o sistema Bluetooth, recebe da placa de aquisição os dados e envia para o mesmo via serial. O dispositivo envia via Bluetooth para o PC, que por via software recolhe os dados e os salva.

2.9 Software e Aquisição de dados

O software de aquisição de dados trata-se de um programa de computador, onde os dados podem ser vistos em tempo real. O sistema também armazena os dados em um arquivo de texto, para que posteriormente esses dados possam ser analisados. Este programa acessa o sistema Bluetooth do PC e, ao mesmo tempo, captura os dados enviados pela placa mostrando-os na tela de modo sincronizado.

O programa foi feito utilizando linguagem C, só que desta vez linguagem C/C++ orientada a objetos, com base no ambiente de desenvolvimento integrado C++ Builder 6.

Na Figura 3 pode ser visto a tela do programa de aquisição e o arquivo texto que o mesmo gera para salvar os dados.

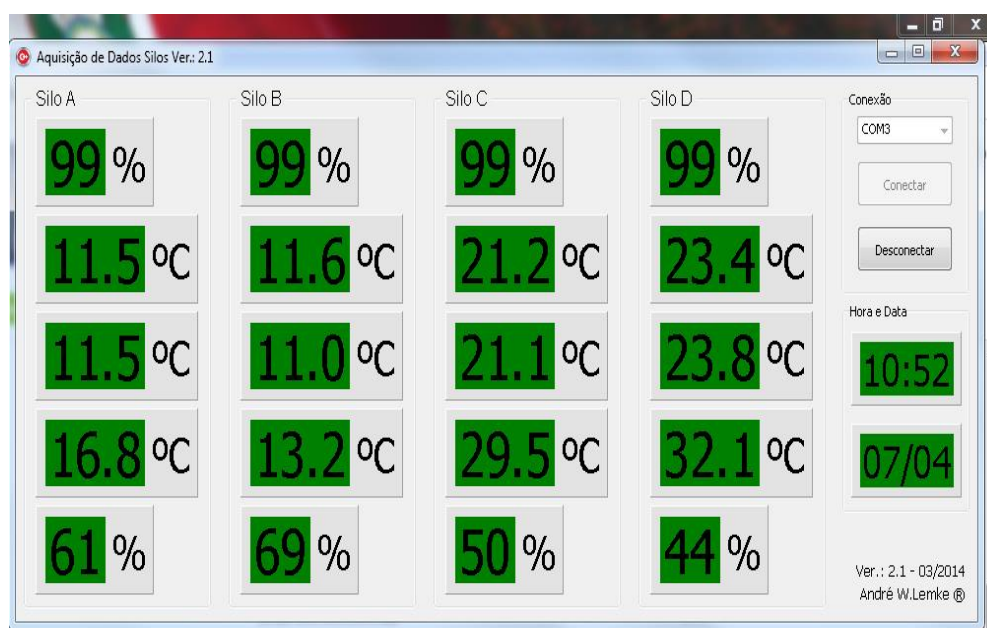


Figura 3 - Tela do software de aquisição

3 - MATERIAL E MÉTODOS.

O trabalho apresentado foi dividido em duas etapas. A primeira foi a construção de quatro silos de secagem com seus sistemas de controle e aquisição de dados de temperatura e umidade relativa.

A segunda etapa consistiu na própria secagem e análise dos dados.

O trabalho foi realizado em um laboratório particular, no mês de abril a junho de 2014, no bairro Areal cidade de Pelotas, Rio Grande do Sul.

Cada silo possuía um metro e vinte centímetros (1,20m) de altura com fundo falso, dois foram aplicados de ar refrigerado e dois ar ambiente.

Para esta etapa se utilizou canos de PVC de duzentos milímetros de diâmetro (200mm) (figura 4). Na parte inferior, dos canos, colocou-se um fundo falso perfurado (grade) colocado a 170 mm de distância do fundo falso (Figura 5). A grade serviu para impedir os grãos de atingir o fundo, permitindo desta forma a entrada de ar no silo. Neste mesmo ponto foi colocado resistência elétricas de 600W para aquecer o ar de entrada caso houvesse necessidade (Figura 6) estes não foram utilizado no experimento.



Figura 4 - Tubo de PVC 200mm utilizado na construção dos silos

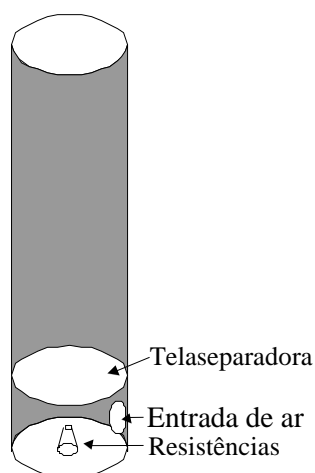


Figura 5 - Estrutura do Silo o Silo.



Figura 6 - Separação de tela com resistência elétrica e entrada de ar em destaque.

Os silos foram montados sob uma base de madeira onde foram instalados os sopradores de ar e os dimmers de controle da corrente nas resistências (figura 7). Os sopradores utilizados no experimento, são da marca Makita, modelo MUB102, de 500 Watts de potência, com possibilidade de controle de rotação de 8.500 a 16.000 rpm e com capacidade de deslocamento de $2,4 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.



Figura 7 - Detalhe da montagem dos silos.

Foram implementados, nos silos, medidores de pressão estática. Todo o sistema foi selado com cola veda-calha para não haver perda de pressão.

Já para desumidificação do ar foi utilizado um condicionador de ar marca Consul, tipo *split*, com unidade externa modelo CBY12CBBNA e unidade interna modelo CBV12CBBNA com capacidade de refrigeração de 3,52 kW (12000 BTU.h⁻¹).

No corpo de cada silo, foram feitos três furos, de 50mm de diâmetro, um no topo, um no centro e outro na base, que serviam para a retirada das amostras. Os furos foram colocados a 120 mm, 490 mm e 850 mm, respectivamente, acima do fundo falso. Os mesmos foram fechados com uma placa de borracha, de 10 mm de espessura, com dois cortes cruzados, fazendo a função de válvula, para a inserção do coletor de amostra.

O conjunto, já incluindo as placas de aquisição, é apresentado na figura 8.



Figura 8 - Conjunto de silos completo.

Os bocais de conexão das mangueiras, foram desenvolvidos especificamente para os sopradores, se utilizou para isto uma impressora 3D. Eles foram construídos de forma a se adaptar aos sopradores para diminuir ao máximo as perdas de carga, pois no mercado não havia tais bocais. O processo de criação destes bocais foi do professor Gladimir Pinto da Silva através do programa Solidworks™ e impressos em uma impressora 3D Mojo™ conforme pode ser observado nas figuras 9, 10 e 11.

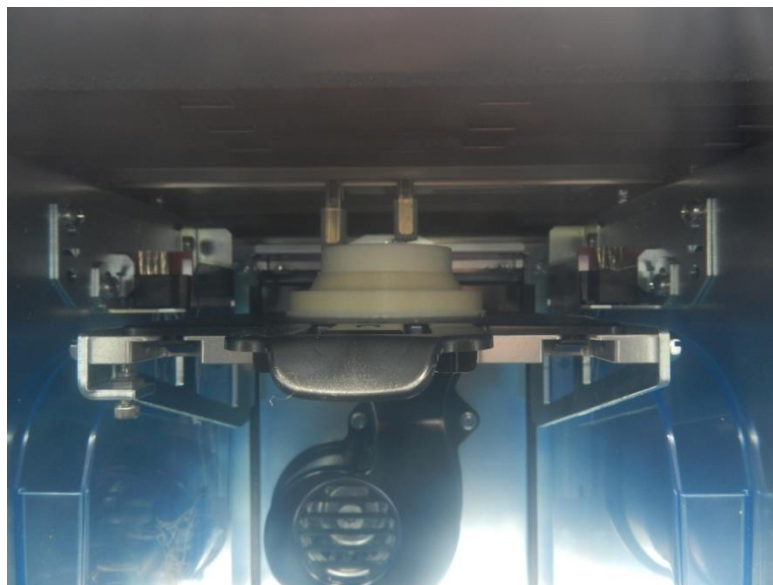


Figura 9 - Processo de impressão dos bocais.



Figura 10 - Bocais já impressos.

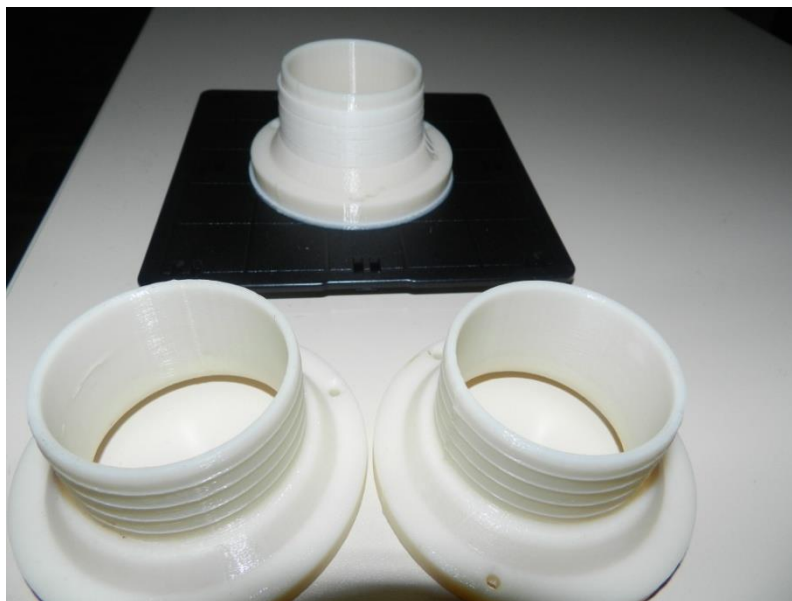


Figura 11 - Bocais superiores sobre a bandeja preta (recém saído da impressora) . Bocais abaixo (Já limpos e prontos para o uso).

Em paralelo com a construção da estrutura mecânica do silo, foi desenvolvido o sistema de aquisição e armazenamento de dados.

Para tal fim optou-se pela tecnologia dos microcontroladores da linha da Microchip™, mais especificamente o 16F877A, que já foi detalhado anteriormente.

Este processador foi escolhido principalmente pelo custo benefício, além de possuir um custo relativamente baixo em relação a outros processadores, ele possui uma série de periféricos internos que nos são úteis, estes pontos, ou características, já foram mencionados anteriormente.

Optou-se por não guardar os dados coletados na memória dos processadores e sim transferi-los via Bluetooth para um software residente em um microcomputador pessoal (PC) e este guardar automaticamente em arquivos de texto.

Primeiro foram desenvolvidas cinco placas de aquisição, quatro ficaram responsáveis pela aquisição dos dados e uma responsável pela transferência de dados via Bluetooth, para o computador central.

Durante os testes preliminares notou-se que a quinta placa era desnecessária e o circuito final ficou composto por quatro placas de aquisição em série, sendo a primeira, placa 1, conectada no silo A, responsável pelo sincronismo de aquisição e transmissão de dados, e a última, Placa 4, acoplada ao silo C, responsável, além da aquisição de dados do seu silo, pela transmissão Bluetooth.

A placa de aquisição de dados pode ser observada na figura 12. Um ponto importante a ser observado é que as placas de aquisição são idênticas, só se diferenciando pelo seu software. Os softwares e esquemas das placas podem ser vistos posteriormente a este trabalho.



Figura 12 - Placa de aquisição de dados.

A segunda etapa deste trabalho foi a secagem propriamente dita.

Para esta etapa, foram utilizadas, 130Kg de grãos de arroz de variedade IRGA 426, já beneficiada.

Em testes preliminares, foram estimados a quantidade de umidade destes grãos, que estavam separados em três sacos com diferentes umidades de 15,3%, 14,8% e 14,5%.

Para se conseguir uma mistura de sementes homogênea com umidade média de 14,8%, as sementes foram misturadas em uma betoneira previamente limpa, para não haver contaminantes, em quantidades de 40kg. Nesta foram adicionados 13,2 litros de água para se obter umidade de 25%, conforme Luz (2008) que propõe o cálculo do percentual da umidade conforme a equação abaixo:

$$bu = \frac{m_a}{m_{mu}} * 100 = \frac{m_a}{m_a + m_s} * 100$$

Onde:

bu= teor de água em base úmida (%)

ma= massa de água (g ou kg)

m_{mu}= massa de matéria úmida (g ou kg)

m_s= massa de matéria seca (g ou kg)

Onde aplicando os dados obtêm-se:

$$25 - 14,8 = \frac{m_a}{130kg} * 100$$

$$m_a = \frac{10,2 * 130kg}{100} = 13,26kg$$

Mais uma vez para se obter uma umidade homogênea na mistura, foi utilizado uma betoneira para adicionar a água.

Após retirar a massa de grãos da betoneira, a mesma foi dividida em sacos plásticos e colocada em uma geladeira a 5°C, durante sete dias, para que a água fosse totalmente distribuída e absorvida pelos grãos, não ficando os grãos úmidos apenas na periferia.

Utilizaram-se dois termômetros, um de bulbo úmido e um de bulbo seco (psicrômetro) para registrar leitura da temperatura do ambiente e o cálculo da

umidade relativa do ambiente. Os registros foram realizados nos momentos das leituras de umidade das amostras.

Para realizar a avaliação da umidade das sementes, foi utilizado um aparelho para avaliar a umidade, este aparelho se utiliza da variação do dielétrico para análise da umidade. O aparelho é da marca Dickey john, modelo GAC 2100 mesmo pode ser visto na figura 13, e sua aplicação foi para determinar o tempo em que se deveria parar o processo de secagem.



Figura 13 - Analisador de umidade capacitivo.

Para uma verificação, mais detalhada, das amostras, foi realizado teste de umidade no laboratório de sementes da Faculdade Eliseu Maciel, utilizando secagem em estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ durante 24hs com pesagem inicial e final da massa de grãos (MAPA, 2009).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante os períodos de secagem o sistema trabalhou num período de aproximadamente doze horas ininterruptamente sem apresentar nenhuma falha tanto na aquisição de dados como no armazenamento dos mesmos. Durante os testes verificou-se um cabo rompido que logo após sua detecção foi corrigido permitindo que o sistema voltasse a operar normalmente.

Os dados armazenados foram coletados a cada um segundo, o que gerou um grande número de informações, o que possibilitou uma análise mais detalhada do processo de secagem.

Os dados de umidade relativa e temperatura ambiente para registro, foram retirados de um psicrômetro, o mesmo pode ser visto na figura 14.



Figura 14 - Termômetro de Bulbo seco e Úmido (Psicrômetro).

Na figura 15, está sendo representado o arquivo texto gerado pelo sistema de aquisição de dados e armazenado neste arquivo, como pode ser visto o arquivo é dividido em quatro silos, A, B, C e D a hora da aquisição e o dia da aquisição.

Como se pode observar, na figura pode-se verificar que como a aquisição é realizada de um em um segundo, há uma grande quantidade de dados com mesmo valor, visto que a temperatura e a umidade, não variam muito neste intervalo de tempo.

Isto gera arquivos muito grandes e, portanto com grande número de dados.

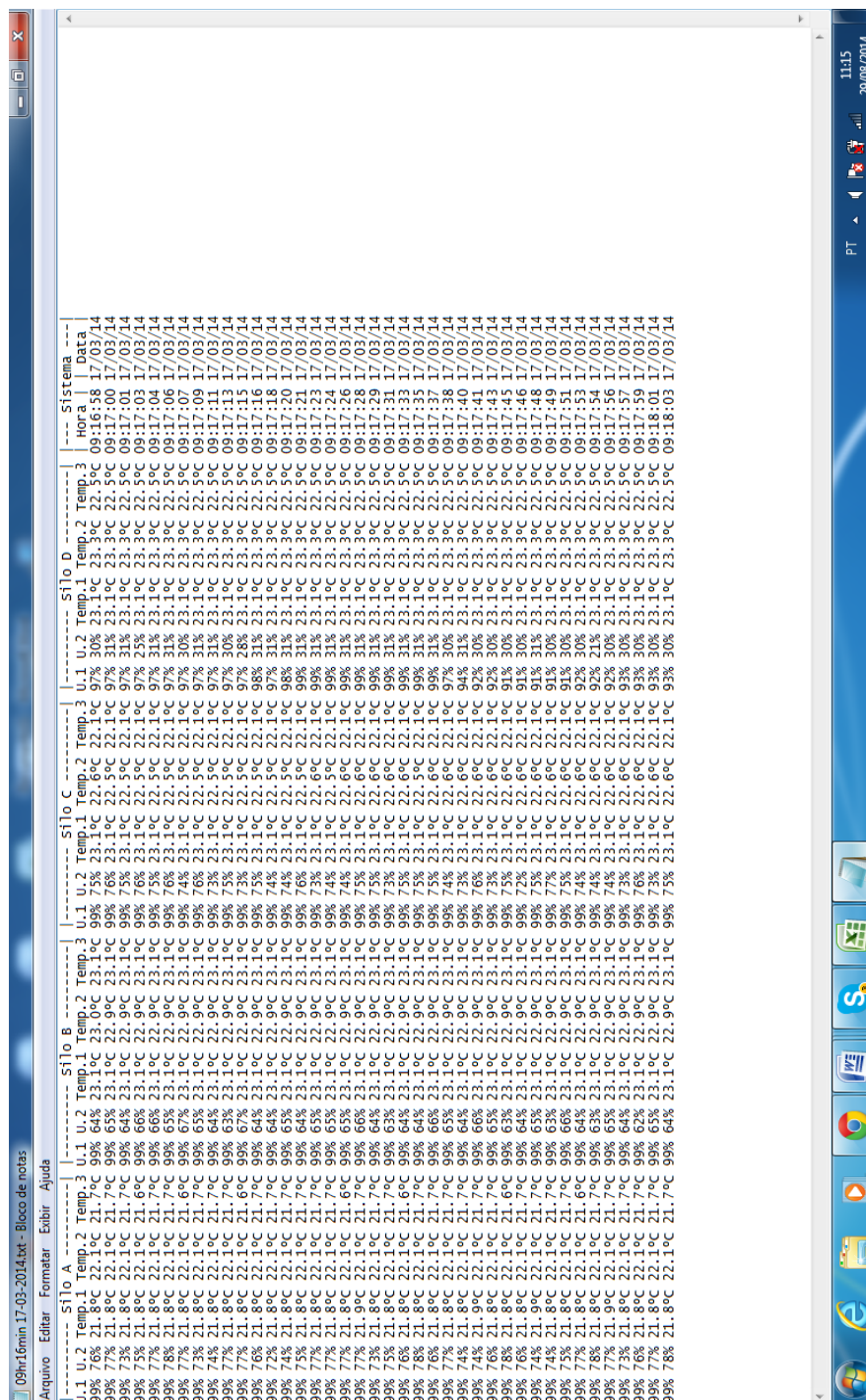


Figura 15 - Arquivo texto gerado pelo sistema

Na figura 16, observa-se a tabela de dados obtida através das leituras do sistema de aquisição, dados estes obtidos de duas em duas horas, a umidade relativa era obtida através de um medidor de umidade capacitivo mostrado na figura 13.

Hora	Posição no solo	A tratamento			B tratamento			C testemunha			D testemunha			Temp. saída Ar	Temp. BS Amb.	Temp. BU Amb.
		Umid.	Temp.	Dens.	Umid.	Temp.	Dens.	Umid.	Temp.	Dens.	Umid.	Temp.	Dens.			
Início 10:15	Topo	22	9,2	578	22	9,2	578	22	9,2	578	22	9,2	578	13	25,5	23
	Meio	22	9,2	578	22	9,2	578	22	9,2	578	22	9,2	578			
	Fundo	22	9,2	578	22	9,2	578	22	9,2	578	22	9,2	578			
12:15	Topo	23,4	13,1	589	22,9	16,8	589	25,2	22,7	588	22,6	23,8	589	11	26,5	24
	Meio	22,6	15,4	589	20,9	15,3	586	24,5	24,6	583	19,6	26,6	577			
	Fundo	17,8	18,6	578	18,4	14,9	581	15,3	30,8	566	15,3	33,9	567			
14:15	Topo	20,2	12,7	573	24,9	11,8	573	18,1	23,7	568	16,3	28,1	561	8	25,5	23,5
	Meio	18,9	15,1	574	19,2	15,3	569	16,8	25,8	557	14,5	31,1	563			
	Fundo	17,2	17,4	564	17,2	15,4	567	13,6	28,9	558	11,8	34,9	566			
16:15	Topo	17,6	14,5	569	19	12,9	573	16	24,7	561	14,7	29,5	557	8	25	23,5
	Meio	18	15,9	572	18,6	16,4	558	15,9	26,5	549	17,7	32,5	556			
	Fundo	16,1	16,8	558	17,1	15,8	564	13,4	28,9	556	11,7	35,1	559			
18:15	Topo	16,8	16,4	570	18,5	14,3	562	14,9	26,9	557	12,8	31,8	553	9	25	23
	Meio	16,7	17,4	570	18,4	13,9	557	14,5	29,8	559	12,9	33,3	556			
	Fundo	15,8	17,6	560	16,7	13,4	569	12,3	32,6	552	11,1	34,6	553			
20:15	Topo	16,3	17,2	567	17,3	14,9	572	13,5	29,6	557	Concluído	Concluído	Concluído	11	24,5	23
	Meio	16,4	16,9	568	17,7	14,5	569	13,3	31	552	Concluído	Concluído	Concluído			
	Fundo	15,1	19,3	565	16,1	14,5	556	11,6	33,8	549	Concluído	Concluído	Concluído			
22:15	Topo	15,8	19,3	570	16,9	17,3	574	12,7	31,1	557	Concluído	Concluído	Concluído	13	24,5	22,5
	Meio	15	20	561	16,3	19,3	561	12,2	32,1	547	Concluído	Concluído	Concluído			
	Fundo	14,7	20,9	547	15,4	20,7	559	11,4	34,3	548	Concluído	Concluído	Concluído			
00:15	Topo	15,1	15,3	565	16	15	573	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	12	24	22,5
	Meio	14,4	15,6	556	15,1	16,7	559	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído			
	Fundo	14,3	16,9	545	14,9	18,2	559	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído			
02:15	Topo	14,6	16	562	15	17,5	566	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	17	23,5	22
	Meio	14,3	17,3	560	14,7	19,4	561	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído			
	Fundo	13,7	18,2	554	14,2	20,2	558	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído			
08:30	Topo	14,5	15,8	555	15,1	16,6	557	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	8	23,5	22,5
	Meio	14,1	16,3	557	14,3	18,1	555	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído			
	Fundo	13,8	16,7	556	14,1	18,3	553	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído			
10:30	Topo	14,3	16,9	553	14,4	18,4	543	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	10	24,5	23
	Meio	14	16,5	553	14,3	18,6	554	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído			
	Fundo	13,7	16,8	550	14	18,9	550	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído			
12:30	Topo	13,7	16,8	558	14,1	18,9	556	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído			
	Meio	13,8	17,2	552	14	16	558									
	Fundo	13,4	16,6	546	13,8	16,7	549									
16:30		Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído	Concluído									

Figura 16 - Dados de leitura e controle da secagem para comparativo.

O trabalho gerou como dito anteriormente, além de uma série de dados, um equipamento que se mostrou extremamente confiável, que abre portas para uma gama enorme de novos projetos de pesquisa.

Com algumas pequenas modificações no software de aquisição que é instalado no computador, e no software das placas principal dos silos, abre-se a possibilidade de controlar melhor o sistema de aquisição, possibilitando a aquisição de dados em tempo menor reduzindo o número de dados.

A frequência de amostragem utilizada foi em torno de 1,6 segundos, isto gerou uma série de amostras de aproximadamente 35000 dados por variável, ou seja, um número muito grande de dados inúteis, para diminuir este número de dados se utilizou uma rotina no Excel para gerar médias em intervalos de tempo de aproximadamente 8 minutos.

Os dados obtidos pelo sistema, e que inicialmente são gravados em arquivos TXT, podem ser transferidos de modo muito simples para o Excel, tornando o sistema mais flexível ainda.

Com a transferência para o Excel, e manipulando os dados conforme descrito anteriormente, pode-se desenvolver tabelas mais claras dos silos, conforme visto nas figuras 17, 18, 19 e 20 que demonstram o estado da umidade relativas dos silos A, B, C e D no topo, centro e meio dos mesmos.

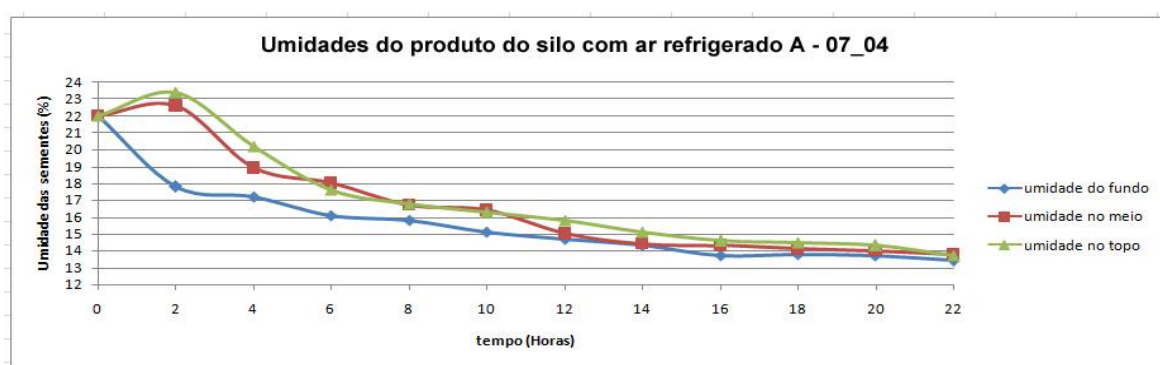


Figura 17 - Umidade das sementes do silo A.

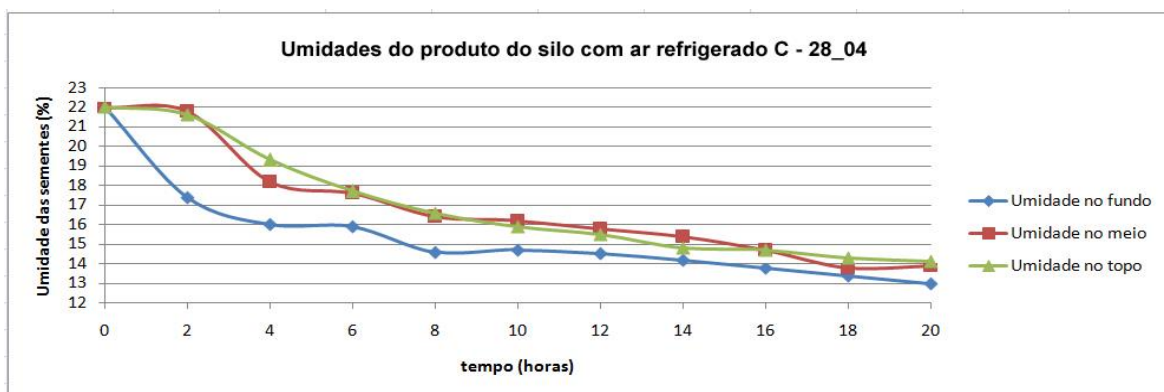


Figura 18 - Umidade das sementes silo C.

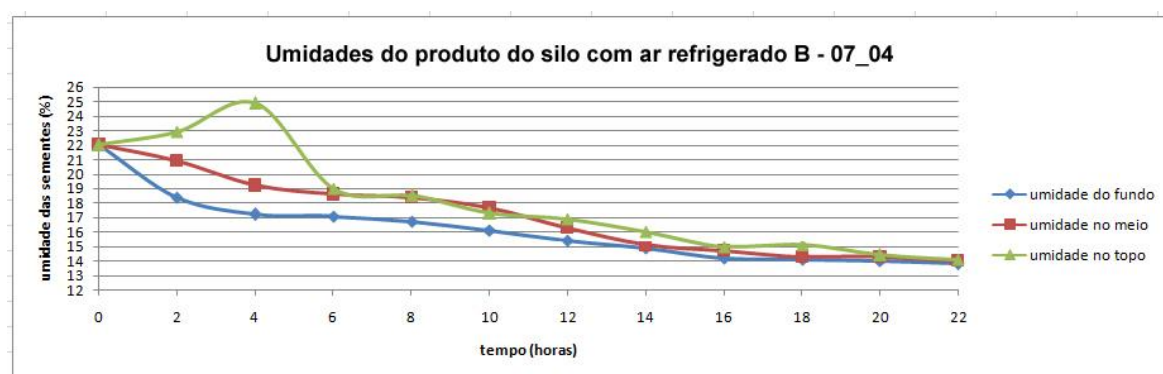


Figura 19 - Umidade das sementes do silo B

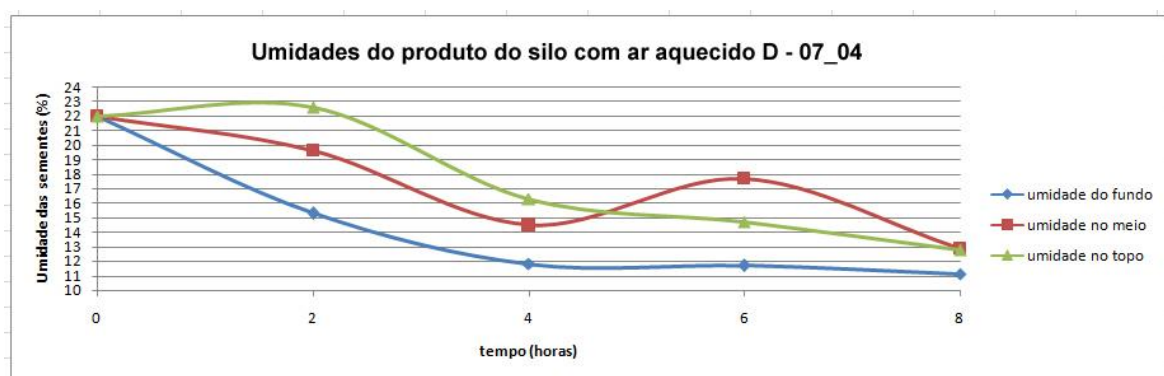


Figura 20 - Umidade das sementes do silo D.

Os dados obtidos, pelo sistema, também permitiram a geração de gráficos de umidade relativa do ar de secagem medidos na entrada e saída do ar. Para efeito de comparação com a umidade do grão, na figura 21 e 22, demonstra-se dois gráficos como exemplo.

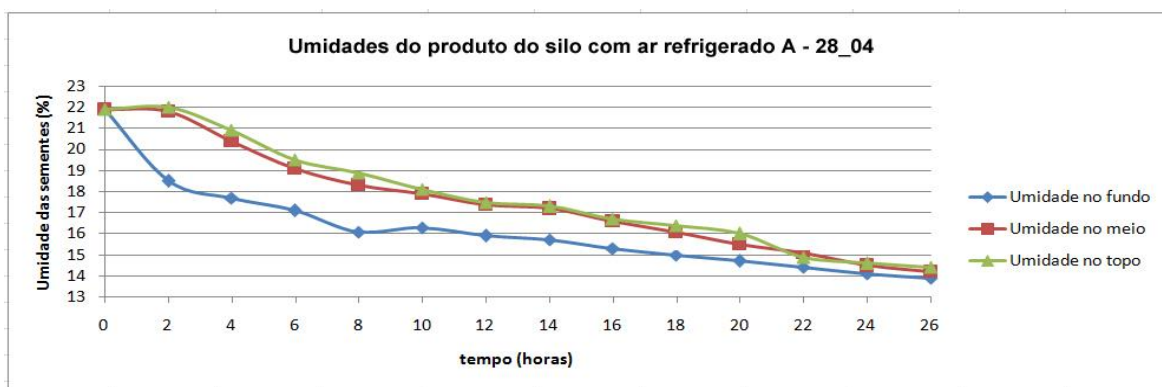


Figura 21 - Umidade do Topo e Fundo do silo A.

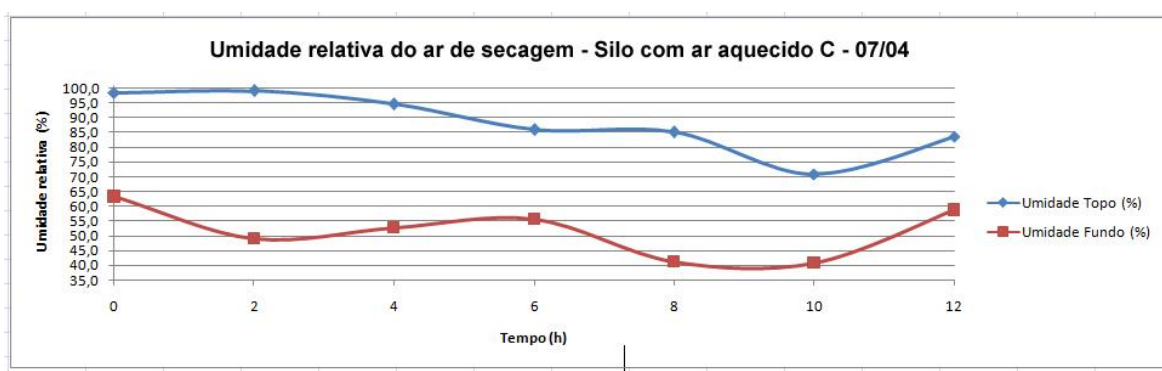


Figura 22 - Umidade do Topo e Fundo do silo C.

Os gráficos apresentados demonstram apenas algumas das possibilidades que o sistema apresenta, dando flexibilidade de análise, ao pesquisador na utilização dos dados levantados.

Para finalizar, o equipamento permite uma fácil interação com o operador, este não necessitando de conhecimento específica para a sua operação. O software de aquisição é visual mostrando os silos e seus sensores nas suas devidas posições.

Após a instalação do software, o operador seleciona qual a porta de comunicação e clica no botão de conectar, automaticamente o sistema começa a apresentar na tela os valores dos sensores e gravar os mesmos em arquivo TXT. Que se localiza na mesma pasta onde o software foi instalado.

Cada vez que o operador clica no botão desconectar, o sistema para de apresentar os dados na tela e no arquivo TXT, se o operador clicar em conectar novamente, os dados são novamente apresentados na tela e automaticamente é gerado um novo arquivo TXT não havendo subscrição de dados o software visto pelo operador pode ser visto na figura 23.

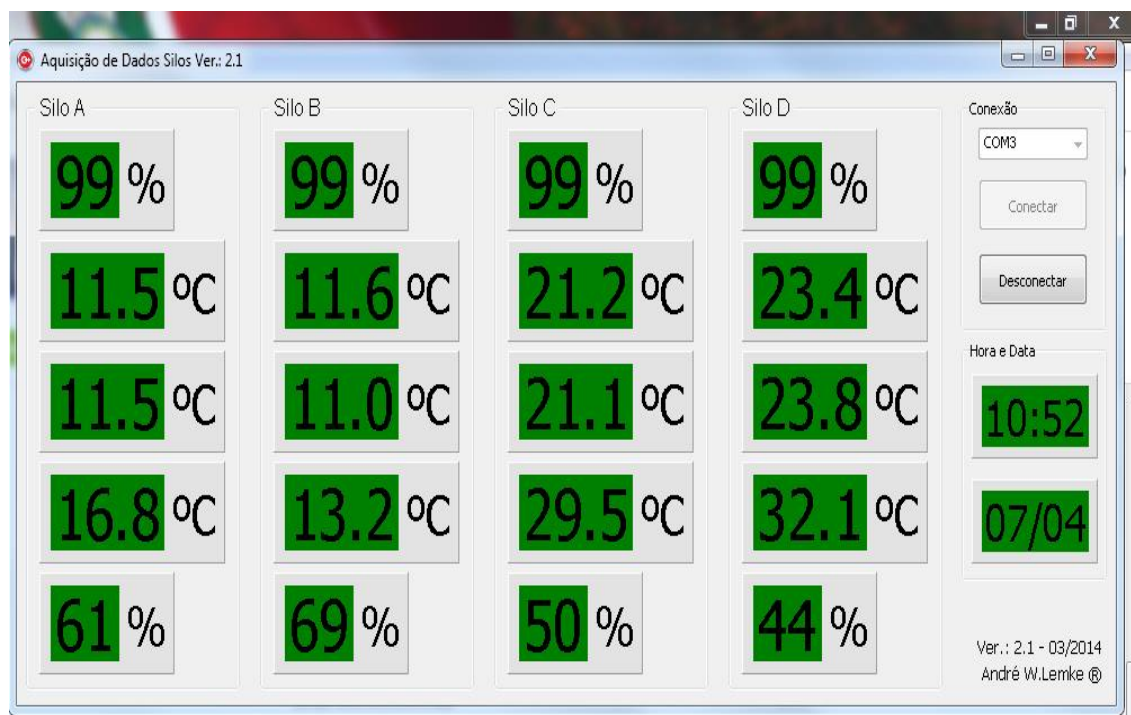


Figura 23 - Visual da tela do sistema de aquisição visto pelo operador.

5 - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Durante a operação de secagem com o sistema, teve-se a oportunidade de analisar o sistema em funcionamento, com isto, surgiram algumas idéias que vêm a melhorar o sistema.

Dentre este, como comentado anteriormente, pode-se acrescentar um teclado que permita a programação, pelo operador, do tempo de aquisição o que eliminaria o número excessivo de dados desnecessários e eliminar o desenvolvimento de um programa em Excel para fazer média dos dados.

Com a colocação de novos sensores poderia se analisar as perdas que ocorreram ao longo do sistema de refrigeração.

No software de aquisição poderia se aumentar o número de possibilidade de aquisição, além de o sistema gerar um backup de segurança dos dados automático.

6 - CONCLUSÃO

Baseado nos dados coletados e nas informações apresentadas, até o momento, pode-se concluir que o trabalho atingiu sua meta que era a de desenvolver um sistema de monitoramento de secagem de baixo custo, simples e confiável, funcionou de forma contínua e sem praticamente nenhuma falha, as falhas.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBIERO, Daniel; BEZERRA, Hldenir Pinheiro, Tecnologia aplicada a agricultura Moderna. Disponível em: http://www.ppgea.ufc.br/arquivos_download/TecnologiaAgriculturaModerna.pdf, acessado em maio/2014, Universidade Federal do Ceará, 2013.

ALVES, W. **C++ Builder 6:Desenvolva Aplicações para Windows**. 2ª ed. São Paulo:Editora Érica 2009.

BAUDET, Leopoldo M.L. **Armazenamento de Sementes de Arroz**In:PESKE,S.T., NEDEL, J.L., BARROS, A.C.S.A. Produção de Arroz Pelotas, Editora Universitária- UFPel, 1996, 655p.

LAZZARI, Flavio Antônio, LAZZARI Sonia Maria Noemberg, **Resfriamento artificial no controle de insetos em sementes armazenadas**. Disponível em: <http://www.coolseed.com.br/pt/download/category/9-documentos.html?download=38%3Aresfriamento-artificial-de-sementes-controle-de-insetos>, acessado em maio/2014, departamento de zoologia Universidade Federal do Paraná

LUZ, Maria Laura Gomes Silva; LUZ, Carlos Alberto Silveira da. **Determinação de umidade de grãos e sementes**. Pelotas: Editora Universitária/UFPel, 2008. 111p.

NOBORU, A. **Microcontroladores PIC18:Aprenda e Programe em Linguagem C**. 1ª ed. São Paulo:Editora Érica, 2009.

PARK, Kil Jin; ANTONIO, Graziella Colato; OLIVEIRA, Rafael Augustus de. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, Campinas, 2007. Disponível em: <http://www.feagri.unicamp.br/ctea/manuais/concproceqsec_07.pdf> Acesso em: 23/07/2014.

PEREIRA, F. **PIC Programação em C:Baseado nos compiladores CCS**. 5ª ed. São Paulo:Editora Érica, 2003.

PESKE, Silmar Teichert; BAUDET, Leopoldo M.L. Secagem de sementes em secadores comerciais. In: **Curso sobre beneficiamento de sementes pra encarregados de U.B.S**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 1984.
PESKE, Silmar Teichert; VILLELA, Francisco Amaral; Secagem de sementes. In: **Sementes: Fundamentos Científicos e tecnológicos**. 3.ed. Pelotas: Editora Universitária/UFPel, 2012. P 371-421.

POLA, J.N. **Efeito do retardamento de colheita sobre a germinação, vigor e sanidade de sementes de soja**. 1979. 144p. (Dissertação de mestrado)-

Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade federal de Pelotas, Pelotas.

SOUZA, David José de, Nicolás César Lavinia, 1971- **Conectando o PIC 16F877A: Recursos Avançados**, 4ª Ed. São Paulo, Editora Érica, 2007.

VILLELA, Francisco Amaral; SILVA, Walter Rodrigues da. **Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho**. Anais ESALQ, Piracicaba, 48:185-209, 1991. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aesalq/v48/11.pdf>> Acesso em: 20/07/2014.

Sites:

http://www.ppgea.ufc.br/arquivos_download/TecnologiaAgriculturaModerna.pdf, acessado em maio/2014

<http://www.cbsoja.com.br/anais/apresentacao/jose-molin.pdf>, acessado em maio/2014

<http://www.phanderson.com/hih-4000.pdf>, acessado em Julho/2013.

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MPX4115A.pdf>, acessado em Julho/2013

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/8/0usg8addedorg54p4k1qdfp457ky.pdf>, acessado em Julho/2013.

http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/P/I/C/1/PIC18F452-I_P.shtml, acessado em Agosto/2013.

http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/D/S/1/3/DS1307.shtml, acessado em Agosto/2013.

http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/M/A/X/2/MAX232.shtml, acessado em Agosto/2013.

[http://www.infopedia.pt/\\$higrometro](http://www.infopedia.pt/$higrometro), acessado em Setembro/2011.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Termofixos>, acessado em Setembro/2011.

<http://netopedia.tripod.com/diversos/barome.htm>, acessado em Setembro/2013.